茶多酚对蛋鸡生产性能、蛋品质和抗氧化能力的影响

汪小红　武书庚*　崔耀明　齐广海　王　晶　张海军

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，生物饲料开发国家工程研究中心，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究茶多酚（TP）对蛋鸡生产性能、蛋品质和抗氧化能力的影响。试验选用 450 只 24 周龄的健康海兰灰产蛋鸡，分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 15 只鸡。对照组饲喂基础饲粮，试验组分别在基础饲粮中添加 40、80、200 和 400 mg/kg TP。试验期 63 d，其中预试期 7 d、正试期 56 d。结果表明，与对照组相比：1）400 mg/kg TP 显著降低了试验期前 4 周的平均蛋重（$P<0.05$）；200 mg/kg TP 显著改善试验期后 4 周的料蛋比（$P<0.05$）；TP 未显著影响产蛋率和平均日采食量（$P>0.05$）。2）饲粮中添加 TP 未显著影响蛋形指数、蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋白高度、哈夫单位和蛋黄颜色（$P>0.05$）。3）TP 显著提高了血浆总超氧化物歧化酶（T-SOD）和谷胱甘肽过氧化物酶（GPx）活性（$P<0.05$）；显著提高试验期第 8 周时血浆总抗氧化能力（T-AOC）（$P<0.05$）。4）TP 显著提高了肝脏和蛋黄 T-AOC 和 T-SOD 活性（$P<0.05$）；显著降低肝脏和蛋黄中丙二醛（MDA）含量（$P<0.05$）。由此可见，饲粮中添加 TP 未显著影响蛋鸡蛋品质；400 mg/kg TP 降低了平均蛋重，200 mg/kg TP 改善了料蛋比，两者均提高了蛋鸡的抗氧化能力，其中以 200 mg/kg 组效果最佳。

关键词：茶多酚；蛋鸡；生产性能；蛋品质；抗氧化能力

中图分类号：S816.7　　文献标识码：A　　文章编号：

茶多酚（tea polyphenols,TP）是从茶叶及其副产品中提取的天然抗氧化剂，是以 α–苯基苯并吡喃为结构基础的类黄酮复合物，具有抗氧化、抗菌、抗病毒，改善畜禽生产性能和产品品质等功能。TP 有极强的抗氧化活性，可提供氢离子（H^+）与超氧阴离子自由基（$\cdot O_2^-$）、羟自由基（·OH）、羧自由基（ROO·）和硝基自由基（$\cdot ONOO^-$）等自由基结合形成惰性化合物，终止自由基链式反应[1]；同时可螯合铁离子（Fe^{3+}）以抑制芬顿（Fenton）反应中·OH 的产生[2]。摄入多酚类物质能维持体内氧化－还原稳态，提高超氧化物歧化酶（SOD）、谷

收稿日期：2016–06–30

基金项目：家禽产业技术体系北京市创新团队（CARS-PSTP）；国家科技支撑计划（2011BAD26B03）；现代农业产业技术体系（CARS-41-K13）

作者简介：汪小红（1990–），女，江西上饶人，硕士研究生，从事蛋品质营养调控研究。E-mail: w_xh_1992@163.com

*通信作者：武书庚，研究员，硕士生导师，E-mail: wushugeng@caas.cn

胱甘肽过氧化物酶（GPx）、过氧化氢酶（CAT）和谷胱甘肽还原酶（GR）等抗氧化酶活性，以抑制局部或全身性炎症反应，刺激核转录因子（Nrf2）活化，上调细胞内抗氧化酶表达水平[3]。研究表明，饲粮中添加 TP 可改善机体和禽蛋的抗氧化状态。玉米饲粮中添加 120 mg/kg TP 能显著提高肉鸭生长性能和血清抗氧化水平，其改善效果优于维生素 E（VE）和二丁基羟基甲苯（BHT）[4]；100~200 mg/kg TP 能延缓鸡蛋在储藏过程中哈夫单位的降低，降低蛋黄胆固醇和丙二醛（MDA）含量[5]；饲粮中含 400 mg/kg 白藜芦醇（又称芪三酚）能降低鹌鹑血清和蛋黄中硫代巴比妥酸反应物（TBARS）含量，提高血清维生素 E 浓度[6]。然而，TP 在动物应用中的量效关系上缺乏系统性研究，其在蛋鸡饲粮中的推荐使用剂量及用量上限鲜见报道。因此，本试验旨在研究饲粮中不同水平 TP 对蛋鸡生产性能、蛋品质及血液、肝脏和蛋黄的抗氧化能力的影响，探讨 TP 在蛋鸡饲粮中的适宜添加剂量，为实际生产提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

TP 由无锡太阳绿宝科技有限公司提供（纯度≥80%，批次号：505083）。采用《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》（GB/T 8313—2008）检测，TP 含量为 66.73%，儿茶素为 37.25%。试验饲粮中 TP 以此实测结果为依据添加，逐级混合到配合饲料中。

1.1.2　试验动物与饲粮

试验选用 450 只 24 周龄的健康海兰灰产蛋鸡，采用单因子完全随机设计，将试验鸡分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 15 只鸡。试验包括预试期 7 d、正试期 56 d。在基础饲粮（表 2）中分别添加 0、40、80、200 和 400 mg/kg 的 TP 构成试验饲粮。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（饲喂基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (as-fed basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	61.25
豆粕 Soybean meal	27.00
豆油 Soybean oil	1.10
石粉 Limestone	8.50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.00

食盐 NaCl	0.20
硫酸钠 Na_2SO_4	0.15
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.10
蛋氨酸 Met	0.12
酵母培养物 Yeast culture	0.30
植酸酶 Phytase	0.05
预混料 Premix[1)]	0.23
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.36
粗蛋白质 CP	16.66
钙 Ca	3.29
总磷 TP	0.49
有效磷 AP	0.28
赖氨酸 Lys	0.859
蛋氨酸 Met	0.377

[1)]预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diet：VA 12 500 IU，VD_3 4 125 IU，VE 15 IU，VK 2 mg，硫胺素 thiamine 1 mg，核黄素 riboflavin 8.5 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 50 mg，烟酸 nicotinic acid 32.5 mg，吡哆醇 pyridoxine 8 mg，VB 125 mg，生物素 biotin 2 mg，胆碱 choline 0.92 mg，Fe 60 mg，Cu 8 mg，Zn 66 mg，Mn 65 mg，Se 0.3 mg，I 1 mg。

[2)]营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3 饲养管理

采用半开放式鸡舍 3 层立体笼养，自然光照加人工补光，光照时间 16 h/d、光照强度 16 lx，相对湿度 50%~90%，自然通风结合纵向负压通风。饲喂干粉料，自由采食和饮水，每天布料、匀料、捡蛋、清粪各 2 次，每周消毒 1 次。常规防疫和管理。

1.4 指标测定与方法

1.4.1 样品采集与制备

正试期，每天按重复记录产蛋数、称蛋重，计算平均蛋重和产蛋率。每 2 周以重复为单位计算平均日采食量和料蛋比。分别于正试期的第 2、4、6 和 8 周末，每重复采 4 枚蛋，测定蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋白高度、哈夫单位、蛋黄颜色和蛋形指数。

于正试期的第 4 和 8 周末，每组随机选取体重相近的蛋鸡，空腹无菌翅静脉采血，3 000 r/min 离心 10 min 制备血浆，－20 ℃保存，待测血浆抗氧化指标。8 周末，每组随机选取体重相近的蛋鸡，屠宰，摘取肝脏，液氮保存待用。

组织匀浆的制备：将肝脏用生理盐水冲洗，除去血液，滤纸吸干，称取约 0.5 g，加 9 倍生理盐水，剪碎，置匀浆机中制成 10%的组织匀浆，3 000 r/min 离心 10 min，取上清液，－20 °C 保存待测，备检肝组织抗氧化指标。

1.4.2　测定方法

蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋白高度、哈夫单位和蛋黄颜色采用以色列 ORKA 公司生产的系列鸡蛋品质测定仪测定；蛋形指数采用日本富士坪公司生产的蛋形指数测定仪测定，蛋黄和蛋壳重量采用万分之一天平测定；总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性采用黄嘌呤氧化酶法测定；MDA 含量采用硫代巴比妥酸（TBA）法测定；GPx 活性和总抗氧化能力（T-AOC）采用比色法测定。所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.5　数据处理

试验数据以“平均值±标准差”表示。数据采用 SPSS 19.0 单因素方差分析（one-way ANOVA）程序进行方差分析，采用 Duncan 氏法进行多重比较。TP 添加水平的线性和二次线性效应采用正交多项式进行分析。以 P<0.05 为差异显著性判断标准。

2　结果与分析

2.1　TP 对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知，与对照组相比，饲粮中添加 TP 未显著影响产蛋率和平均日采食量（P>0.05）。平均日采食量在试验后期（4~8 周）和试验全期（1~8 周）随 TP 添加水平升高呈二次曲线变化（P<0.05）。与对照组相比，饲粮中添加 TP 对平均蛋重和料蛋比影响较为明显。试验前期（1~4 周），随着 TP 添加水平的升高，平均蛋重线性降低（P<0.05），400 mg/kg 组平均蛋重显著低于对照组和 40 mg/kg 组（P<0.05）；各组平均蛋重在试验后期及全期无显著差异（P>0.05），但平均蛋重在试验后期随 TP 添加水平升高呈二次曲线趋势变化（P<0.05）。试验前期，各组料蛋比无显著变化（P>0.05）；试验后期，料蛋比随 TP 添加水平升高呈二次曲线变化(P<0.05),其中 200 mg/kg 组料蛋比显著低于对照组(P<0.05),其他 TP 组与对照组无显著差异（P>0.05）。整个试验期，料蛋比随 TP 添加水平升高先降低后升高，200 mg/kg 组料蛋比最佳。

表 2　TP 对蛋鸡生产性能的影响

Table 2　Effects of dietary TP on performance of laying hens

项目 Items	时间 Time/周	茶多酚添加水平 TP supplemental level/(mg/kg)					*P* 值 *P*-value	
		0	40	80	200	400	线性 Liner	二次 Quadratic
产蛋率 Egg production/%	1~4	86.37±1.43	87.94±4.16	86.98±3.77	86.7±3.31	86.44±2.72	0.805	0.568
	4~8	86.04±2.72	87.33±4.88	87.38±3.11	89.51±4.37	87.65±4.36	0.325	0.510
	1~8	86.48±2.34	86.68±2.50	88.00±3.06	88.67±3.71	88.04±2.95	0.220	0.640
平均蛋重 Average egg weight/g	1~4	55.27±0.95^{a}	55.60±0.45^{a}	55.19±0.55^{ab}	54.85±0.74^{ab}	54.28±0.72^{b}	0.008	0.137
	4~8	58.28±0.77	59.23±0.71	59.01±0.81	58.72±0.84	57.97±0.55	0.297	0.010
	1~8	57.15±1.06	57.25±0.50	57.18±0.79	57.28±1.19	56.72±1.24	0.552	0.492
平均日采食量 Average daily feed intake/(g/d)	1~4	113.32±3.84	115.79±3.67	113.48±1.32	113.31±3.46	112.62±4.03	0.647	0.689
	4~8	115.83±1.33	115.11±1.77	115.21±1.45	115.11±4.20	115.01±3.13	0.574	0.007
	1~8	114.74±3.77	113.33±0.94	113.83±2.36	114.16±2.63	114.05±2.68	0.879	0.020
料蛋比 Feed/egg	1~4	2.25±0.12	2.25±0.11	2.27±0.13	2.22±0.13	2.26±0.14	0.902	0.954
	4~8	2.33±0.19^{a}	2.18±0.05^{ab}	2.18±0.05^{ab}	2.13±0.15^{b}	2.36±0.15^{a}	0.977	0.003
	1~8	2.23±0.14	2.21±0.14	2.21±0.08	2.20±0.10	2.31±0.09	0.325	0.158

同行数据肩注不同字母表示差异显著(P＜0.05)，相同字母或者无字母表示差异不显著(P＞0.05)。下表同。

In the same row, values with different letter superscripts mean significant differences (P＜0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant differences (P＞0.05). The same as below.

2.2 TP 对蛋品质的影响

由表 3 可知，第 2、4、6、8 周时，与对照组相比，TP 对蛋形指数、蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋白高度、哈夫单位和蛋黄颜色的影响均不显著（P>0.05）。试验第 8 周时，蛋壳强度随 TP 添加水平升高呈线性降低（P<0.05）。

表 3 TP 对蛋品质的影响

Table 3 Effects of dietary TP on egg quality

项目 Items	时间 Time/周	茶多酚添加水平 TP supplemental level/(mg/kg)					*P* 值 *P*-value	
		0	40	80	200	400	线性 Liner	二次 Quadratic

蛋形指数 Egg shape index	2	1.33±0.02	1.32±0.02	1.34±0.03	1.34±0.02	1.34±0.02	0.213	0.571
	4	1.33±0.02	1.34±0.02	1.35±0.03	1.34±0.03	1.34±0.01	0.338	0.159
	6	1.33±0.01	1.35±0.03	1.36±0.04	1.34±0.03	1.36±0.03	0.247	0.411
	8	1.33±0.02	1.35±0.03	1.34±0.01	1.34±0.03	1.35±0.03	0.346	0.479
蛋壳强度 Eggshell strength/(N/cm^2)	2	38.65±3.53	38.83±3.60	40.27±3.61	39.15±3.95	37.11±3.59	0.621	0.827
	4	40.29±3.90	40.63±3.16	40.60±2.74	37.38±1.91	38.48±1.10	0.410	0.265
	6	37.43±1.96	37.83±3.52	37.23±3.21	36.27±2.97	35.46±3.76	0.187	0.570
	8	35.77±2.40	35.46±2.29	34.89±2.20	34.06±2.03	33.98±2.53	0.004	0.398
蛋壳厚度 Eggshell thickness/ mm	2	0.35±0.01	0.35±0.01	0.34±0.01	0.34±0.01	0.33±0.01	0.999	0.990
	4	0.34±0.01	0.35±0.01	0.33±0.01	0.34±0.01	0.34±0.01	0.445	0.304
	6	0.35±0.02	0.36±0.02	0.35±0.01	0.35±0.01	0.35±0.02	0.285	0.116
	8	0.35±0.01	0.35±0.01	0.35±0.01	0.34±0.02	0.34±0.01	0.110	0.428
蛋白高度 Albumen height/mm	2	7.09±0.63	7.12±0.38	7.16±0.43	7.22±0.47	7.07±0.29	0.955	0.940
	4	6.70±0.33	6.72±0.20	6.92±0.51	7.14±0.60	7.11±0.68	0.932	0.812
	6	7.52±0.47	7.58±0.53	7.69±0.42	7.73±0.35	7.52±0.50	0.810	0.401
	8	7.36±0.60	7.46±0.62	7.36±0.35	7.59±0.49	7.49±0.76	0.596	0.928
哈夫单位 Haugh unit	2	85.56±4.30	84.5±1.84	87.01±3.17	85.28±5.63	85.85±2.17	0.778	0.864
	4	82.69±3.06	82.84±2.13	83.08±3.30	84.12±3.40	82.13±3.30	0.965	0.464
	6	86.17±2.38	86.53±3.37	86.59±2.39	86.63±1.11	85.25±4.21	0.646	0.435
	8	83.29±4.02	83.63±3.71	84.94±2.81	86.43±3.96	86.15±4.09	0.090	0.854
蛋黄颜色 Yolk color	2	3.94±0.53	4.00±0.21	3.78±0.50	3.61±0.53	4.06±0.33	0.772	0.228
	4	3.72±0.77	3.33±0.52	3.5±0.41	3.56±0.50	3.56±0.54	0.879	0.444
	6	4.50±0.46	4.89±0.54	4.72±0.25	4.50±0.62	4.61±0.49	0.794	0.422
	8	4.22±0.34	4.67±0.30	4.22±0.46	4.44±0.27	4.44±0.34	0.626	0.680

2.3 TP 对蛋鸡抗氧化能力的影响

2.3.1 TP 对血浆抗氧化指标的影响

由表 4 可知，与对照组相比，TP 组血浆 MDA 含量均降低（P＞0.05），且第 4 和 8 周末，均以 200 mg/kg 组最低，但与其他组差异不显著（P>0.05）。与对照组相比，TP 可显著提高血浆 T-SOD 活性（P<0.05）；第 4 周末，400 mg/kg 组血浆 T-SOD 活性最高，与各

TP 组差异不显著（*P*>0.05），但显著高于对照组（*P*<0.05）；第 8 周末，血浆 T-SOD 活性随 TP 添加水平升高呈线性和二次曲线变化（*P*<0.05），且线性变化更为显著（*P*<0.01），其中以 200 mg/kg 组最高，除与 400 mg/kg 组差异不显著（*P*>0.05）外，均显著高于其他组（*P*<0.05）。第 4 周末，与对照组相比，各 TP 组血浆 T-AOC 随 TP 添加水平升高而提高，但差异不显著（*P*＞0.05）；第 8 周末，各 TP 组血浆 T-AOC 随 TP 添加水平升高呈线性升高（*P*<0.05），其中以 200 mg/kg 组最高，除与 80 和 400 mg/kg 组差异不显著（*P*＞0.05）外，显著高于其他组（*P*<0.05）。第 4 周末，各 TP 组血浆 GPx 活性均显著高于对照组（*P*<0.05）；各 TP 组血浆 GPx 活性随 TP 添加水平升高线性升高（*P*<0.05），以 400 mg/kg 组最高，显著高于其他组（*P*<0.05）；第 8 周，各 TP 组血浆 GPx 活性随 TP 添加量升高呈二次曲线变化（*P*<0.05），以 200 mg/kg 组最高，显著高于其他组（*P*<0.05）。

表 4　TP 对蛋鸡血浆抗氧化指标的影响

Table 4　Effects of TP on antioxidant indices in plasma of laying hens

项目 Items	时间 Time/周	茶多酚添加水平 TP supplemental level/(mg/kg)					*P* 值 *P*-value	
		0	40	80	200	400	线性 Liner	二次 Quadratic
丙二醛 MDA /(nmol/mL)	4	7.14±0.47	7.07±0.60	7.06±0.58	6.98±0.99	7.09±0.41	0.850	0.779
	8	11.82±0.90	11.09±1.63	10.92±1.45	10.14±1.39	11.42±0.17	0.329	0.107
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	4	170.21±11.72^{b}	183.7±15.12^{ab}	183.87±10.18^{ab}	188.2±10.37^{a}	193.8±7.41^{a}	0.632	0.533
	8	157.45±9.01^{d}	172.19±10.50^{c}	173.97±4.97^{bc}	189.33±6.06^{a}	182.4±4.93^{ab}	<0.001	0.019
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	4	10.92±2.50	11.24±2.84	11.83±2.67	12.24±3.73	12.33±2.05	0.328	0.891
	8	5.26±1.10^{b}	6.35±1.93^{b}	7.54±2.16^{ab}	9.51±2.72^{a}	7.84±1.69^{ab}	0.008	0.175
谷胱甘肽过氧化物酶 GPx/(U/mL)	4	1 438.39±69.49^{c}	1 558.60±64.53^{b}	1 602.50±61.79^{b}	1 618.27±31.8^{b}	1 793.41±64.18^{a}	<0.001	0.394
	8	2 321.16±108.15^{b}	2 340.62±113.53^{b}	2 397.52±110.44^{b}	2 520.25±78.72^{a}	2 325.22±89.91^{b}	0.161	0.031

2.3.2　TP 对肝脏抗氧化指标的影响

由表 5 可知，与对照组相比，TP 显著降低了肝脏 MDA 含量（*P*<0.05），其中 200 mg/kg 组最低，与 400 mg/kg 组差异不显著（*P*>0.05），显著低于其他组（*P*<0.05）；TP 显著提高了肝脏 T-SOD 活性（*P*<0.05），其中 200 mg/kg 组最高，且显著高于其他组（*P*<0.05），

80 和 400 mg/kg 组显著高于对照组（$P<0.05$），但 2 组间差异不显著（$P>0.05$）；肝脏 MDA 含量和 T-SOD 活性随 TP 添加水平升高呈线性和二次曲线变化（$P<0.05$），且线性变化更为显著（$P<0.01$）；200 mg/kg 组肝脏 T-AOC 最高，与 80 和 400 mg/kg 组差异不显著（$P>0.05$），但显著高于其他组（$P<0.05$）。

表 5　TP 对蛋鸡肝脏抗氧化指标的影响

Table 5　Effects of TP on antioxidant indices in liver of laying hens

项目 Items	茶多酚添加水平 TP supplemental level/(mg/kg)					P 值 P-value	
	0	40	80	200	400	线性 Liner	二次 Quadratic
丙二醛 MDA /(nmol/mg prot)	7.46±0.58^{a}	6.27±0.22^{b}	4.95±0.55^{c}	4.24±0.64^{d}	4.45±0.33^{cd}	<0.001	0.002
超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg prot)	20.87±1.20^{d}	23.64±0.96^{c}	26.83±0.98^{b}	28.82±1.08^{a}	27.17±0.86^{b}	<0.001	0.018
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg prot)	17.14±0.72^{b}	17.74±1.50^{b}	18.04±1.74^{ab}	19.69±1.37^{a}	18.06±1.54^{ab}	0.058	0.171

2.3.3　TP 对蛋黄抗氧化指标的影响

由表 6 可知，与对照组相比，各 TP 组蛋黄 MDA 含量均显著降低（$P<0.05$），其中 400 mg/kg 组最低，与 80 和 200 mg/kg 组差异不显著（$P>0.05$）；蛋黄 T-SOD 活性以 400 mg/kg 组最高，与 80 和 200 mg/kg 组差异不显著（$P>0.05$），但显著高于其他组（$P<0.05$）；蛋黄 MDA 含量和 T-SOD 活性随 TP 添加水平升高呈线性变化（$P<0.05$）；各 TP 组蛋黄 T-AOC 显著提高（$P<0.05$），以 200 mg/kg 组最高，与其他 TP 组差异不显著（$P>0.05$）。

表 6　TP 对蛋黄抗氧化指标的影响

Table 6　Effects of TP on antioxidant indices in egg yolk

项目 Items	茶多酚添加水平 TP supplemental level/(mg/kg)					P 值 P-value	
	0	40	80	200	400	线性 Liner	二次 Quadratic
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	513.53±17.86^{a}	478.24±19.17^{b}	475.05±25.84^{bc}	468.58±17.08^{bc}	451.14±18.20^{c}	<0.001	0.309
超氧化物歧化酶	2 515.02±135.31^{c}	2	2	2 929.5±218.95^{a}	2 954.20±69.78^{a}	<0.001	0.323

T-SOD/(U/mL)		681.09±185.08[bc]	802.08±206.79[ab]				
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	1.00±0.12[b]	1.25±0.12[a]	1.26±0.22[a]	1.37±0.24[a]	1.34±0.22[a]	0.387	0.625

3 讨 论

3.1 TP 对蛋鸡生产性能的影响

本试验结果表明，TP 影响平均蛋重和料蛋比，未影响产蛋率和平均日采食量。本试验中，400 mg/kg TP 降低了试验前期的平均蛋重，与相关报道相近，如饲粮中添加 0.67%茶叶提取物，略微降低平均蛋重[7]；1%绿茶粉可提高蛋重，而 5%和 10%绿茶粉显著降低了蛋重[8]。

料蛋比是蛋鸡生产上的重要指标之一。本试验中，与对照组相比，200 mg/kg TP 组对蛋鸡试验前期料蛋比无显著影响，但显著降低了试验后期料蛋比，表明 TP 对降低料蛋比可能具有时间累积效应[9]。试验后期，400 mg/kg TP 组料蛋比有升高趋势，表明较高剂量 TP 不利于蛋鸡生产。何柳青等[10]研究表明，200 和 400 mg/kg TP 能显著降低料蛋比，100 mg/kg TP 时蛋鸡生产性能最佳。饲粮中添加 100 mg/kg TP 料蛋比低于对照组，而 150~200 mg/kg TP 有降低产蛋率和升高料蛋比的趋势[5]，以上结果与本试验结果不相一致，可能因不同的 TP 样品，其实际含有的 TP 水平与宣称值不相一致，致实际饲粮 TP 剂量存在偏差（试验前期，已采购多种 TP 产品，进行 TP 及儿茶素含量测，实测值均与宣称值差异较大）。上述结果均提示，适宜 TP 水平有改善饲料效率的作用，较高 TP 影响饲料效率，降低了平均蛋重，可能的原因有：TP 中含有的酚酸、咖啡碱及缩合单宁等抗营养因子，破坏或阻碍蛋鸡对营养物质的消化吸收；或儿茶素抑制了肠道对脂肪的吸收和脂肪合酶活性，蛋黄脂质形成受阻[7-8]，进而影响蛋重；多酚及其在肠道中代谢物能促进有益菌、抑制有害菌，选择性地调节肠道易感微生物的生长[11]，从而保证胃肠道微生物菌群健康，有利于营养物质的吸收与利用，改善饲料效率。高剂量 TP 影响生产性能，除与其含有抗营养因子等因素有关外，还可能由于 TP 属于黄酮类物质，具有植物雌激素活性，少量促进动物生长，过量可作为雌激素拮抗剂，影响动物生产性能[12]。

3.2 TP 对蛋品质的影响

本试验结果显示，TP 未见显著影响蛋品质。有报道认为饲粮中添加 0.5%绿茶提取物和 1.5%绿茶粉对蛋品质无显著影响[13]；也有报道指出，5%和 10%绿茶粉组蛋壳强度、蛋壳厚度和哈氏单位有降低的趋势，且 10%组蛋壳厚度显著低于未添加组[8]；改善蛋品质报道指出，

3%绿茶叶或 0.15 L/kg 绿茶提取物显著升高蛋壳厚度，蛋黄颜色随添加量升高而升高[14]；0.6%绿茶粉可显著提高鸡蛋贮存期开始、第 5 和 10 天的蛋白高度和哈氏单位[15]。以上研究结果与本试验结果不尽相同，可能与 TP 样品组成不同有关。

3.3 TP 对蛋鸡抗氧化能力的影响

生物体内，自由基作用于生物膜的磷脂、酶和膜受体相关的多不饱和脂肪酸，生成 MDA、4－羟基壬烯酸等脂质氧化终产物。TP 能清除体内自由基，抑制脂质过氧化，减少 MDA，提高机体的抗氧化能力。SOD 是机体内天然存在的$\cdot O_2^-$清除因子，可将$\cdot O_2^-$转化为过氧化氢，是生物体内重要的抗氧化酶。T-AOC 是衡量抗氧化系统功能状况的综合性指标，可反映机体对外界刺激的代偿能力及机体自由基代谢的状态，主要由非特异性抗氧化物、生物金属螯合剂以及抗氧化酶类 3 类物质相互协同调节机体抗氧化系统。GPx 是机体内广泛存在的一种重要的过氧化物分解酶，能催化过氧化氢和脂质过氧化物的还原。TP 可再生和保护体内非特异性抗氧化物质维生素 C 和维生素 E[16]，与金属离子络合，抑制以金属离子介导或催化的相关脂蛋白氧化和氧化酶的活性，上调细胞内 *SOD*、*CAT* 和 *GPx* 等抗氧化酶表达[17]，减免机体发生氧化损伤。本试验结果显示，与对照组相比，TP 提高了蛋黄、肝脏和血浆中 T-AOC、T-SOD 活性，提高了血浆 GPx 活性，并降低了蛋黄和肝脏中 MDA 含量，且 200 和 400 mg/kg 组抗氧化效果较好。类似的报道也有很多，5~40 mg/kg TP 可不同程度地降低蛋黄、肝脏及血浆中脂质过氧化物水平，但对肝脏的 T-SOD 活性影响不明显[18]；鹌鹑饲粮中添加 200 和 400 mg/kg 表没食子儿茶素没食子酸酯（EGCG）可显著提高热应激条件下肝脏 SOD 活性，降低血浆和肝脏 MDA 含量[19-20]。

TP 可提高蛋鸡正常或应激状态下机体的抗氧化能力，随着 TP 剂量增加，机体的抗氧化能力随之提高，但当 TP 超过一定剂量时，机体抗氧化能力不再升高，甚至会下降。本试验第 8 周时，200 mg/kg 组血浆 GPx 活性显著高于 400 mg/kg 组以及其他试验组。前人研究表明，蛋鸡饲粮中添加橙皮素或柚皮素（类黄酮多酚物质），血浆中 SOD、CAT 和 GPx 等抗氧化酶活性均在 2%组最高，4%组下降[21]，提示 TP 或黄酮类物质与机体抗氧化水平存在最佳剂量效应，高剂量可影响机体抗氧化，酚类分子供 H^+或作为还原剂时，其分子本身也是较稳定的自由基，多酚与过渡金属离子的互作可使促氧化剂的产生，当体内酚类的氧化中间产物或氧化终产物（如半醌或醌类）浓度较高时，可作为促氧化剂损害机体健康[22-23]。

本试验第 8 周时血浆和肝脏中的 T-SOD 活性均以 200 mg/kg TP 组最高，蛋黄中 T-SOD 以 400 mg/kg 组最高；血浆和肝脏中 MDA 含量均以 200 mg/kg 组最低，蛋黄中 MDA 则以 400 mg/kg 组最低。可见，TP 对蛋鸡血浆、肝脏和蛋黄抗氧化能力的改善效果不同。研究表

明，大鼠连续口服 0.6%茶多酚第 28 天，在食道、大肠、肾、膀胱和肺等器官中检出表没食子儿茶素（EGC）和表儿茶素（EC），而其在肝、脾、心和甲状腺中含量较低，提示 TP 在体内代谢分布存在不均衡性[9]，这与本试验结果相一致。这可能是由于胃肠道中经过解聚或解离作用后的 TP 及其微生物代谢产物相继进行肝脏 I 相与 II 相代谢，后被血液循环系统运输到各组织器官以发挥生物学作用或经尿液排出体外[25]。代谢路径中，多酚及其代谢产物会因构象不断改变导致酚羟基数量及活性不断降低，使 TP 在不同器官部位的抗氧化活性不同[26]。综上，200、400 mg/kg TP 组可显著提高蛋鸡机体抗氧化能力。

4 结 论

① 饲粮添加 400 mg/kg TP 降低鸡蛋平均蛋重，200 mg/kg TP 改善料蛋比；200 和 400 mg/kg TP 可显著提高蛋鸡的抗氧化能力，但两者抗氧化效果无显著差异。饲粮中添加 TP 未显著影响鸡蛋品质。

② 本试验条件下，添加 200 mg/kg TP 对蛋鸡生产性能及机体抗氧化效果最佳。

参考文献：

[1] TSAO R,LI H Y.Antioxidant properties *in vitro* and *in vivo*:realistic assessments of efficacy of plant extracts[J].Plant Sciences Reviews,2012,7(9):11–13.

[2] PERRON N R,BRUMAGHIM J L.A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding[J].Cell Biochemistry and Biophysics,2009,53(2):75–100.

[3] KANSANEN E,KUOSMANEN S M,LEINONEN H,et al.The Keap1-Nrf2 pathway:mechanisms of activation and dysregulation in cancer[J].Redox Biology,2013,1(1):45–49.

[4] 张亚茹,王忠,蔡少敏,等.陈玉米饲粮中添加茶多酚、维生素 E 和二丁基羟基甲苯对肉鸭生长性能和抗氧化功能的影响[J].动物营养学报,2015,27(4):1184–1190.

[5] 张旭,蒋桂韬,王向荣,等.茶多酚对蛋鸡生产性能、蛋品质和蛋黄胆固醇含量的影响[J].动物营养学报,2011,23(5):869–874.

[6] SAHIN K,AKDEMIR F,ORHAN C,et al.Effects of dietary resveratrol supplementation on egg production and antioxidant status[J].Poultry Science,2010,89(6):1190–1198.

[7] YAMANE T,GOTO H,TAKAHASHI D,et al.Effects of hot water extracts of tea on performance of laying hens[J].Japanese Poultry Science,1999,36(1):31–37.

[8] KOJIMA S,YOSHIDA Y.Effects of green tea powder feed supplement on performance of hens in the late stage of laying[J].International Journal of Poultry Science,2008,7(5):491–496.

[9] KIM S,LEE M J,HONG J,et al.Plasma and tissue levels of tea catechins in rats and mice during chronic consumption of green tea polyphenols[J].Nutrition and Cancer,2000,37(1):41–48.

[10] 何柳青,曲湘勇,魏艳红,等.茶多酚和酵母硒及其互作对绿壳蛋鸡生产性能、蛋品质及蛋黄中胆固醇和硒含量的影响[J].动物营养学报,2012,24(10):1966–1975.

[11] 肖俊松,单静敏,曹雁平,等.多酚通过肠道菌群调节能量代谢研究进展[J].食品科学,2012,33(3):300–303.

[12] MARTIN P M,HORWITZ K B,RYAN D S,et al.Phytoestrogen interaction with estrogen receptors in human breast cancer cells[J].Endocrinology,1978,103(5):1860–1867.

[13] ARIANA M,SAMIE A,EDRISS M A,et al.Effects of powder and extract form of green tea and marigold,and α-tocopheryl acetate on performance,egg quality and egg yolk cholesterol levels of laying hens in late phase of production[J].Journal of Medicinal Plants Research,2011,5(13):2710–2716.

[14] ABDO Z M A,HASSAN R A,EL-SALAM A A,et al.Effect of adding green tea and its aqueous extract as natural antioxidants to laying hen diet on productive,reproductive performance and egg quality during storage and its content of cholesterol[J].Egyptian Poultry Science Journal,2010,30(4):1121–1149.

[15] BISWAS M A H,MIYAZAKI Y,NOMURA K,et al.Influences of long-term feeding of Japanese green tea powder on laying performance and egg quality in hens[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2000,13(7):980–985.

[16] DAI F,CHEN W F,ZHOU B.Antioxidant synergism of green tea polyphenols with α-tocopherol and L-ascorbic acid in SDS micelles[J].Biochimie,2008,90(10):1499–1505.

[17] TSENG Y H,YANG J H,MAU J L.Antioxidant properties of polysaccharides from *Ganoderma tsugae*[J].Food Chemistry,2008,107(9):732–738.

[18] 齐广海,郑君杰,尹靖东,等.类黄酮物质对蛋鸡抗氧化和脂质代谢的影响[J].营养学报,2002,24(2):153–157.

[19] SAHIN K,ORHAN C,TUZCU M,et al.Epigallocatechin-3-gallate prevents lipid peroxidation and enhances antioxidant defense system via modulating hepatic nuclear transcription factors in heat-stressed quails[J].Poultry Science,2010,89(10):2251–2258.

[20] TUZCU M,SAHIN N,KARATEPE M,et al.Epigallocatechin-3-gallate supplementation can improve antioxidant status in stressed quail[J].British Poultry Science,2008,49(5):643–648.

[21] TING S,YEH H S,LIEN T F.Effects of supplemental levels of hesperetin and naringenin on egg quality,serum traits and antioxidant activity of laying hens[J].Animal Feed Science and Technology,2011,163(1):59–66.

[22] HALLIWELL B.Free radicals and antioxidants:updating a personal view[J].Nutrition Reviews,2012,70(5):257–265.

[23] ZHANG H,TSAO R.Dietary polyphenols,oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects[J].Current Opinion in Food Science,2016,8:33–42.

[24] VAN DUYNHOVEN J,VAUGHAN E E,JACOBS D M,et al.Metabolic fate of polyphenols in the human superorganism[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2011,108(S1):4531–4538.

[25] PROCHÁZKOVÁ D,BOUŠOVÁ I,WILHELMOVÁ N.Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids[J].Fitoterapia,2011,82(4):513–523.

Effects of Dietary Tea Polyphenols on Performance, Egg Quality and Antioxidant Ability of Laying Hens

WANG Xiaohong WU Shugeng* CUI Yaoming QI Guanghai WANG Jing ZHANG Haijun

(National Engineering Research Center of Biological Feed, Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, *China)*

Abstract: The experiment was conducted to study the effects of dietary tea polyphenols (TP) on performance, egg quality and antioxidant ability of laying hens. Four hundred and fifty healthy Hy-Line Gray laying hens of 24 week-old were randomly allotted to 5 groups with 6 replicates per group and 15 hens per replicate. The laying hens in the control group were fed a basal diet, and those in experimental groups were fed the basal diets with 40, 80, 200 and 400 mg/kg TP, respectively. The experiment lasted for 63 days followed an adaptation period of 7 days. The results showed as follows, compared with the control group: 1) adding 400 mg/kg TP significantly decreased the average egg weight during the first 4 weeks (P<0.05); adding 200 mg/kg TP significantly decreased the ratio of feed to egg (F/E) during the second 4 weeks (P<0.05); there were no significant differences on egg production and average daily feed intake (P>0.05). 2)

Dietary supplementation of TP did not significantly affect the egg shape index, eggshell thickness, albumen height, Haugh unit and yolk color (P>0.05). 3) The activities of total superoxide dismutase (T-SOD) and glutathione peroxidase (GPx) in plasma were significantly increased (P<0.05), and the total antioxidant capacity (T-AOC) in plasma was significantly increased at the end of 8 weeks of this experiment (P<0.05) by TP supplementation. 4) The T-AOC and T-SOD activity both in liver and yolk were significantly increased (P<0.05), and the malondialdehyde (MDA) content in liver and yolk was significantly decreased (P<0.05) by TP supplementation. In conclusion, dietary supplementation of TP do not significantly affect egg quality, but 400 mg/kg TP can decrease the average egg weight and 200 mg/kg can improve F/E in some content. Both TP supplemental levels above can improve the antioxidant ability of laying hens, and 200 mg/kg is the optimum supplemental level.

Key words: tea polyphenols; laying hens; performance; egg quality; antioxidant ability

---

*Corresponding author, professor, E-mail: wushugeng@caas.cn (责任编辑　田艳明)